



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

위험전압 측정시스템의 설계 및 제작

Design and Fabrication of a Risk Voltage
Measurement System



指導教授 徐 東 煥

2011年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

張 雲 龍

本 論文을 張雲龍의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長：工學博士 吉 暲 碩 ⑩

委 員：工學博士 金 潤 植 ⑩

委 員：工學博士 徐 東 煥 ⑩



2010年 12月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

張 雲 龍

목 차

목 차	I
그림 및 표 목차	III
Abstract	V
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 목적 및 내용	3
제 2 장 이 론	4
2.1 대지저항률	4
2.2 접지임피던스	10
2.3 위험전압	17
2.3.1 접촉전압	18
2.3.2 보폭전압	20
제 3 장 설계 및 제작	22
3.1 하드웨어 구성	22
3.2 소프트웨어 설계	23
3.3 노이즈 제거 알고리즘	28

제 4 장 평 가 및 분 석	31
4.1 대지저항률	32
4.2 접지임피던스	33
4.3 위험전압	34
 제 5 장 결 론	 39
 참 고 문 헌	 41



그림 및 표 목차

<그림목차>

그림 2.1	4전극법의 구성	5
그림 2.2	불균등거리를 이용한 대지저항률의 측정	8
그림 2.3	다전극을 이용한 대지저항률 측정	9
그림 2.4	봉상접지극의 등가회로	11
그림 2.5	전위강하법의 구성	13
그림 2.6	간격 x 에 따른 대지전위의 변화	14
그림 2.7	90° 전위강하법의 구성	15
그림 2.8	접촉전압의 정의	19
그림 2.9	보폭전압의 정의	20
그림 3.1	시제작 위험전압 측정시스템(RVMS)	23
그림 3.2	대지저항률 측정 프로그램	24
그림 3.3	접지임피던스 측정 프로그램	25
그림 3.4	위험전압 측정 프로그램	26
그림 3.5	위험전압 측정시스템 동작 흐름	27
그림 3.6	외부 노이즈 간섭 파형의 예	28
그림 3.7	65 [Hz] 디지털 대역통과필터 주파수 특성	29
그림 3.8	대역통과 필터에 의한 노이즈 제거	30
그림 4.1	대지저항률 실험계의 구성	32
그림 4.2	대지저항률의 측정	32
그림 4.3	접지임피던스 실험계의 구성	33
그림 4.4	접지임피던스의 측정	34
그림 4.5	실험계의 구성	35
그림 4.6	전류보조전극의 이격거리에 따른 접촉전압의 변화	36
그림 4.7	전류보조전극의 이격거리에 따른 보폭전압의 변화	37

<표 목차>

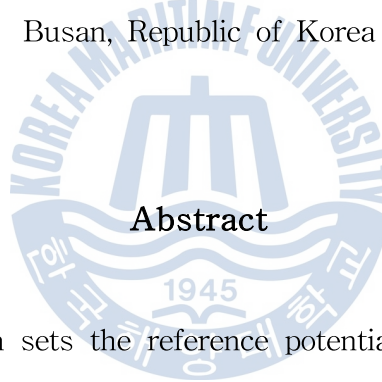
표 4.1	비교측정의 결과	31
표 4.2	접지임피던스의 측정 결과	34
표 4.3	위험전압의 측정결과	36



Design and Fabrication of a Risk Voltage Measurement System

by Un-Yong, Jang

Department of Electrical & Electronic Engineering
The Graduate School of Korea Maritime University
Busan, Republic of Korea



Abstract

The ground system sets the reference potential in an electric circuit or protects devices by suppressing ground potential rise, dissipating fault current to earth. Currently, the performance of ground system is mainly evaluated as the ground resistance in low frequency region around 100 [Hz]. However the ground resistance does not consider the ground potential rise, measurement of the ground resistivity, the ground impedance, and the risk voltage like the touch- and the step-voltage is necessary to evaluate the performance of ground system.

This thesis, therefore, dealt with the design and fabrication of a risk voltage measurement system (RVMS) which analyzes all the parameters above. The RVMS consists of a power source, a data acquisition module (DAQ), a signal processor, and a display. The power source can supply $300 [V_{rms}]$ and $1.4 [A]$ maximum in ranges from $40 [Hz]$ to $1 [kHz]$. The DAQ module having resolution of $400 [kS/s]$ and 16 bit is equipped with 6 ports for voltage and a port for current. Also, a noise elimination algorithm of digital band-pass filter is applied to minimize a measurement error caused by external current flowing earth.

The performance of the RVMS is evaluated by measurement of the ground resistivity, the ground impedance and the risk voltage according to the IEEE standard 80 and 81 in a ground electrode with a $10 [m]$ counterpoise. The result showed that the RVMS analyzes the ground resistivity and the ground impedance, and the risk voltage with error below $2 [\%]$ and $5 [\%]$, respectively.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

정보통신 및 전력전자 기술의 발전으로 전기·전자통신설비들의 사용과 전력수요가 증가하고 있으며, 이에 따른 국내 총발전량 또한 2000년 300,000 [GWh]에서 2009년 400,000 [GWh]로 지속적으로 증가하고 있다^[1]. 그러나 전력설비를 비롯한 산업사회 전반에 사용되는 모든 전기·전자통신설비들은 뇌격이나 지락, 단락사고 등 고장시에 발생하는 고주파 성분의 과도전류에 매우 취약하여 기기의 오동작, 파손 및 정보의 손실을 가져오며 인체의 안전에도 커다란 위험 요인이 된다. 이에 대해 접지시스템은 과도전류를 대지로 흘려보내어 전위상승을 억제함으로써, 각종 전기·전자통신설비들의 파손을 방지하고 인체의 안전을 도모할 수 있으므로 이에 대한 적절한 대책과 연구가 필요하다^[2].

접지시스템의 성능평가는 대지저항률, 접지저항 및 접지임피던스, 접촉전압 및 보폭전압과 같은 위험전압을 평가하는 방법이 있으며, 현재는 주로 상용주파수 또는 1 [kHz] 이하 저주파 전류의 접지저항으로만 평가하고 있다^{[3]~[6]}. 그러나 대지는 지층의 종류 및 구조, 토양내 화학적 이온 및 수분의 함유 상태와 온도 등에 따라서 측정되는 저항값이 큰 차이를 나타낸다. 또한, 실제의 접지계에는 고장상태에 따라 저주파인 상용주파수 전류에서부터 수 [kHz]~수 [MHz]의 주파수 성분을 포함하는 고주파 전류가 발생하며, 접지시스템을 통하여 유입될 때는 도전성 특성뿐만 아니라 인덕턴스에 의한 유도성의 특성과 캐패시턴스에 의한 용량성의 특성이 나타나게 된다^{[7]~[9]}. 이러한 원인으로 인해 접지임피던스의 값이 커져 접지

극의 전위가 높아지게 되고, 과도전류는 이에 대한 내성이 취약한 전자기에 침입하여 절연파괴를 일으키거나 연결되어 있는 전기·전자통신설비를 파손시키는 등 심각한 장애를 초래하게 된다^[10]. 특히 인체가 접지시스템 성능이 저하된 전력설비 및 건축물에 직접 접촉을 하게 되거나 주변에 있게 되면, 대지전위의 상승으로 인한 전위차로 감전되어 재해를 입을 수 있다. 이와 같이 접지시스템은 고장상태에 따라 그 특성이 상이하므로, 성능을 평가하기 위해서는 각각의 접지파라미터의 영향을 고려하여야 한다^{[11]~[12]}.

현재 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 여러 접지시스템을 대상으로 지층의 구조를 감안한 대지저항률 및 고주파 전류의 영향을 고려한 접지임피던스에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, IEC나 IEEE등의 국제규격에서는 위험전압 관련 규정을 강화하고 있는 추세이다. 그러나 국내의 경우 대부분 접지저항으로만 접지시스템에 대한 성능평가가 이루어지고 있으며, 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압을 측정·분석할 수 있는 시스템의 개발은 거의 전무한 실정이다. 또한, 전문가의 경험과 실험적으로 측정된 데이터에 의존하는 경향이 크다. 그러므로 접지시스템의 성능평가를 위해서는 대지저항률과 접지임피던스 뿐만 아니라 위험전압의 영향을 고려하여야 하며, 이를 평가할 수 있는 기술과 측정시스템의 개발이 필요하다^{[13]~[14]}.

1.2 연구 목적 및 내용

접지시스템은 기기의 기준전위를 설정하고, 절연파괴에 의한 단락이나 지락시 고장전류를 대지로 안전하게 흘려보내는 기능을 한다. 이는 대지전위의 상승을 억제하여 인체의 감전에 대한 보호와 전기·전자통신기기의 오동작 또는 파손을 방지하기 위함이다^{[15]~[16]}.

현재의 접지시스템 평가는 전기설비기술기준에서 정한 접지저항 허용값의 충족 여부를 판단하기 위하여 상용주파수와 같은 저주파에서 접지저항만을 측정하는 것이 대부분이다. 그러나 이는 토양의 구성 성분에 따른 대지저항률과 고주파 성분의 뇌격전류 또는 지락전류의 유입에 따른 접지임피던스 및 대지전위의 상승으로 인한 위험전압의 영향을 고려하지 않은 것으로, 접지시스템의 안전성을 평가하기 위해서는 위의 접지파라미터들을 측정·분석할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 접지시스템의 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압을 측정하고 분석할 수 있는 시스템을 설계·제작하였다. 측정시스템은 정현파 전원 발생부, 전압·전류 측정부, 표시부로 구성된다. 또한, 외부 노이즈의 영향에 의한 측정 오차를 최소화하기 위하여 디지털 대역통과필터를 사용한 노이즈 제거 알고리즘을 적용하였다. 제작한 위험전압 측정시스템의 성능평가를 위하여 무유도 저항을 사용한 교정실험을 수행하였으며, IEEE Std. 80, 81에 근거하여 10[m] 매설지선이 시설된 접지시스템에서 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압을 측정하고 그에 따른 결과를 분석하였다.

제 2 장 이 론

접지란 전기·전자통신기기를 대지와 전기적으로 접속하는 것을 말하며, 기기를 대지에 접속하기 위한 터미널이 접지전극이다. 접지의 목적은 회로의 기준전위를 정하거나, 뇌격전류 또는 지락전류가 대지로 유입될 때 대지전위의 상승을 억제하여 인체의 감전이나 전기·전자통신기기의 사고를 방지하는 것이다. 접지시스템은 접지대상인 전기·전자통신기기, 금속체와 대지를 접속하는 단자의 역할을 하는 접지극, 그리고 접지대상과 접지극을 연결시키는 접지선으로 구성된다^[17]. 피접지체로부터 접지선과 접지극을 통해 대지로 흐르는 전류를 접지전류라고 하며, 임의의 접지저항을 갖는 접지극에 접지전류가 흐르면 무한 원점의 기준전위에 따른 전위차가 발생하는데 이를 대지전위상승이라 한다^{[18]~[19]}.

이러한 접지시스템의 성능을 나타내는 주요 파라미터에는 대지저항률, 접지임피던스 및 위험전압 등이 있다.

2.1 대지저항률

대지의 구조는 복잡한 지층구조를 나타내는 것이 보통이며 접지저항을 좌우하는 대지저항률 ρ 또한 흙의 종류나 수분의 양 혹은 온도, 흙에 함유되어 있는 용해성 물질이나 그 물질의 농도 그리고 토양 입자의 크기나 밀도 등에 의해 다양한 값을 나타내기 때문에 대지저항률의 취급이 중요하다^{[20]~[21]}. 대지저항률은 단면적이 1[m²], 길이 1[m]인 토양의 전기저항으로 정의되며, 접지저항의 90 [%] 이상을 차지하는 중요한 요소이다^[22].

지표면 아래에 매설된 접지도체를 통하여 대지로 유입되는 전류는 매설지점의 대지저항률에 따라 현저하게 변동된다. 접지저항은 대지저항률에

의존하므로 접지의 설계와 시공에 있어서 접지전극 매설지점의 대지저항률과 지층의 구조를 알아내는 것은 대단히 중요하다. 이러한 대지저항률은 대지의 전기적 특성을 고려하여 저항과 커패시터의 병렬구조인 등가회로로 나타낼 수 있다. 대지저항률의 분석은 이러한 환경 및 토양의 구조를 정확히 이해해야하나 실제 대지는 지층별로 토양이 다르고, 복잡한 다층구조로 구성되어 정확한 분석은 어렵다.

대지저항률을 측정하는 방법으로는 2전극법, 4전극법, 접지저항계를 이용한 간이측정법 등이 제안되어 사용되고 있으나, 이들 중 “Wenner법”이라고도 하는 4전극법이 정확도가 우수하고 측정도 간편하므로 가장 널리 사용되고 있다. 이는 1915년 Frank Wenner에 의해 발표된 것으로 그림 2.2에 나타낸 것과 같이 구성하며 넓은 면적의 대지에 평균대지저항률을 측정하는 가장 정확한 방법이다^[23].

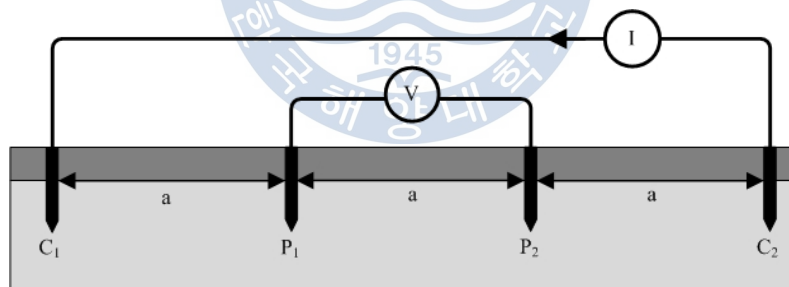


그림 2.1 4전극법의 구성

Fig. 2.1 Configuration of a four-point method

대지저항률 $\rho [\Omega \cdot \text{m}]$ 인 균일한 대지에 반구상 전극이 타입되어 전류 $I [\text{A}]$ 가 유입된다면, 전류는 전극에서 주위의 대지를 향하여 방사형태로 유출해 나간다. 이때의 거리 $r [\text{m}]$ 지점의 전위는 다음과 같다.

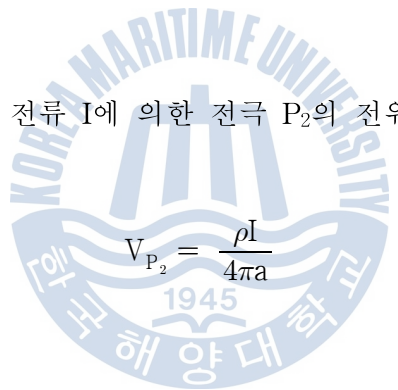
$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} [V] \quad (2.1)$$

그림 2.1에서 전극 C_1 에 유입하는 전류 I 에 의한 전극 P_1 의 전위는 식 (2.2)에 따라

$$V_{P_1} = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2.2)$$

와 같이 구할 수 있다.

전극 C_1 에 유입하는 전류 I 에 의한 전극 P_2 의 전위는 마찬가지로

$$V_{P_2} = \frac{\rho I}{4\pi a} \quad (2.3)$$


이 된다.

따라서 전극 P_1 과 P_2 사이의 전위차는

$$V_1 = \frac{\rho I}{2\pi a} - \frac{\rho I}{4\pi a} = \frac{\rho I}{4\pi a} \quad (2.4)$$

이다.

한편 전극 C_2 로부터 유출하는 전류 I 에 의한 전극 P_1 과 P_2 의 전위차는 전류를 $-I$ 라 놓으면, 같은 방법으로 다음과 같이 된다.

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi a} \quad (2.5)$$

전극 P_1 과 P_2 사이에 발생하는 전위차는 V_1 과 V_2 의 합이므로, 식 (2.4)와 식 (2.5)로부터

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2.6)$$

이 된다.

따라서 식 (2.6)을 변형해서 ρ 를 구하면

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

이다.

여기서 V/I 는 전극 P_1 과 P_2 의 저항 R 이므로

$$\rho = 2\pi a R [\Omega \cdot m] \quad (2.8)$$

이 된다.

측정방법은 동일선상에 a [m]의 등간격을 갖는 4개의 전극을 대지에 매설하여 시험전류 I [A]를 외부 2개의 전류보조극을 통하여 흐르게 하고, 내부의 2개의 전위보조극에서 전압 V [V]를 측정한 뒤, 시험전류 I [A]로 나누어 저항 R [Ω]을 구한다. 그러면 다음 식 (2.8)을 통하여 평균대지저항률을 구할 수 있다.

하지만 실제 대지는 지층별로 토양이 다르고, 복잡한 다층구조로 구성되기 때문에, 본 논문에서는 다층구조의 대지를 단층구조로 해석하고자 측정대지를 균일한 대지로 가정하고, 측정전류가 전극의 배치간격보다 더 깊은 영역을 통과할 수 없다는 Gish와 Rooney 규칙을 적용하여 보조전극 사이의 개별적 대지저항률과 측정영역에 대한 평균 대지저항률을 측정하였다^[24].

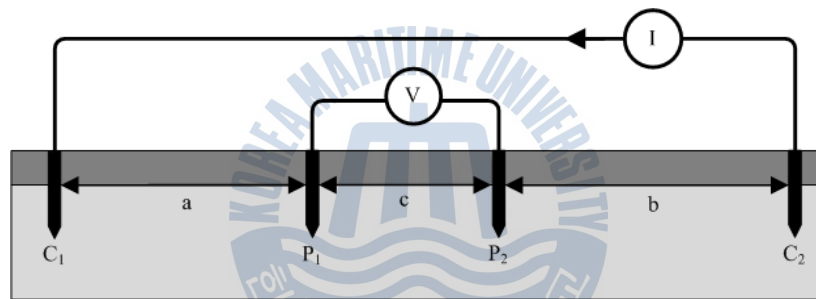


그림 2.2 불균등거리를 이용한 대지저항률의 측정

Fig. 2.2 Measurement of soil resistivity using different distances

그림 2.1에서의 설명과 같이 그림 2.2에 대한 전극 P₁과 P₂사이의 전위차를 나타내면,

$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} - \frac{\rho I}{2\pi(a+c)} \text{ [V]} \quad (2.9)$$

과 같으며 식 (2.9)를 대지저항률 ρ [$\Omega \cdot \text{m}$]로 나타내면 다음과 같다^[25].

$$\rho = \frac{2 \pi R}{\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{b+c} - \frac{1}{a+c}\right)} [\Omega \cdot m] \quad (2.10)$$

이는 Wenner법과는 달리 전극간의 거리가 달라도 대지저항률 측정이 가능하기 때문에 각 전위보조전극 사이의 대지저항률을 측정할 수 있다.

식 (2.10)은 측정영역에 대한 비등간격의 측정법으로써 Schlumberger법을 적용하면 그림 2.3과 같이 개별적이고 전체적인 대지저항률의 동시측정이 가능하다.

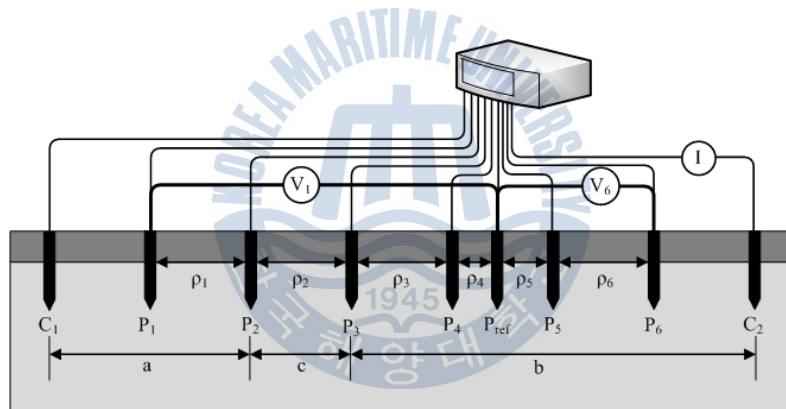


그림 2.3 다전극을 이용한 대지저항률 측정

Fig. 2.3 Measurement of soil resistivity by multi-electrode

이처럼 접지저항에는 대지저항률이 중요한 요소이며, 대지저항률 및 접지극의 형상과 크기에 의해서 접지저항이 결정되며 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$R = \rho \times f \text{ (형상, 치수)} \quad (2.11)$$

여기서, R = 접지저항 [Ω]

ρ = 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]

f (형상, 치수) = 전극의 형상과 치수에 의해 결정되는 함수

낮은 접지저항을 얻으려면 대지저항률 ρ 와 함수 f 를 작게 하면 되지만, 대지저항률을 낮게 하는 것은 어렵기 때문에 전극의 형상이나 치수를 적절히 설계하여 접지저항을 낮추게 된다. 따라서 접지공사의 설계 및 시공에 있어서 측정된 대지저항률을 기초로 하여 접지극의 형상과 크기, 시공 방법 등을 결정하는 것이 효과적이다.

2.2 접지임피던스

접지저항은 접지시스템의 보호 종류와 수준을 정하는데 많은 영향을 주며, 직류 또는 상용주파수에 해당하는 정상접지저항은 선형적인 저항특성으로 접지저항을 해석한 것이다. 하지만 주파수 영역에서의 대지가 갖는 비선형성으로 인해 계통의 고장이나 뇌격시와 같이 수 [kHz]~수 [MHz]의 고주파 성분을 갖는 고장 또는 서지 전류가 유입될 때의 접지임피던스는 접지시스템의 저항성분(R) 외에 접지극과 접지선의 인덕턴스(L), 토양의 비유전율 및 접지극과 토양의 접촉상태에 따른 캐패시턴스(C) 등의 파라미터에 의해 특징지어지며, 각 요인이 영향을 미치는 정도에 따라 저항성, 유도성, 용량성 접지임피던스로 나타난다^[26].

접지시스템을 통하여 고주파 성분의 접지전류 I [A]가 유입되면, 이로 인해 접지극 주변의 대지에 전위상승 V [V]가 발생한다. 이 때 접지임피던스는 접지저항과 마찬가지로 전위상승과 접지전류의 비 $V/I = Z$ [Ω]으로 정의되며, 아래의 식 (2.12)와 같이 표현된다.

$$Z_g = R_g + jX_g [\Omega] \quad (2.12)$$

여기서, Z_g : 접지임피던스, R_g : 저항성분, X_g : 리액턴스 성분

접지임피던스는 토양의 특성, 대지저항률, 온도, 습도, 접지극의 모양과 접속상태 등 여러 가지 요인들이 복합적으로 작용하므로 등가회로 모델로 나타내기는 쉽지 않으나, 일반적인 가정을 통한 봉상접지극의 등가회로 모델은 아래의 그림 2.3과 같이 R-L-C 집중정수회로로 나타내며 접지임피던스는 식 (2.13)과 같이 표현할 수 있다. 봉상접지극은 타입 및 매설이 쉬운 형태의 전극으로 가장 간단하고 경제적이며 이론적인 해석이 용이한 장점이 있다.

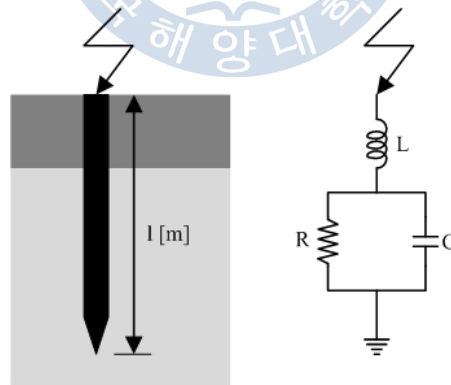


그림 2.4 봉상접지극의 등가회로

Fig. 2.4 Equivalent circuit of a ground rod

$$\begin{aligned}
Z_g &= R_g + jX_g = j\omega L + \frac{\frac{R}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \\
&= \frac{R}{1 + (\omega CR)^2} + j\left[\omega L - \frac{\omega CR^2}{1 + (\omega CR)^2}\right]
\end{aligned} \tag{2.13}$$

여기서 서지전류에 의한 봉상접지극의 등가회로 및 접지임피던스에서 접지저항 R은 Dwight에 의해 유도된 식 (2.14)에 의해 주어진다^[27].

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left[\ln\left(\frac{8 \cdot l}{d}\right) - 1 \right] [\Omega] \tag{2.14}$$

여기서, ρ = 대지저항률 [$\Omega \cdot m$]

l = 접지극의 길이 [m]

d = 접지극의 직경 [m]

접지극에 고주파 성분의 서지전류가 유입될 때는 도전성 특성뿐만 아니라 접지극의 인덕턴스에 의한 유도성 특성 및 접지극과 대지간의 캐패시턴스에 의한 용량성 특성도 나타나게 된다. 이때 봉상접지극의 인덕턴스 L 및 캐패시턴스 C는 아래와 같다^[28].

$$L = 2 \cdot l \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{d}\right) \cdot 10^{-7} [H] \tag{2.15}$$

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot l}{18 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot l}{d}\right)} \cdot 10^{-9} \text{ [F]} \quad (2.16)$$

여기서, ε_r = 토양의 유전상수

식 (2.13)에서 알 수 있듯이 접지시스템의 임피던스는 주파수에 대한 함수이므로 고주파 영역에서의 접지시스템의 성능을 평가하는 지표로 접지저항보다는 접지임피던스를 적용하여야 한다. 특히 다양한 기기의 접지시스템이 공통 접지화되는 최근의 접지기술 경향에 입각할 때 정확한 접지시스템의 성능평가를 위해서는 접지임피던스의 측정이 필요하다.

접지임피던스의 측정방법은 전류를 인가하기 위해 사용하는 보조전극에 따라 2전극법, 3전극법, 전위강하법으로 분류되며, 그 중에서 전위강하법은 측정의 정확도가 높아 현재 가장 널리 사용되는 방법이다^{[29]~[30]}. 전위강하법은 접지극, 전위보조전극 및 전류보조전극을 일직선으로 배치하는 방법과 전위보조전극과 전류보조전극을 직각으로 배치하는 방법이 있다^{[31]~[32]}. 그림 2.5는 전위강하법의 구성을 나타낸 것이다.

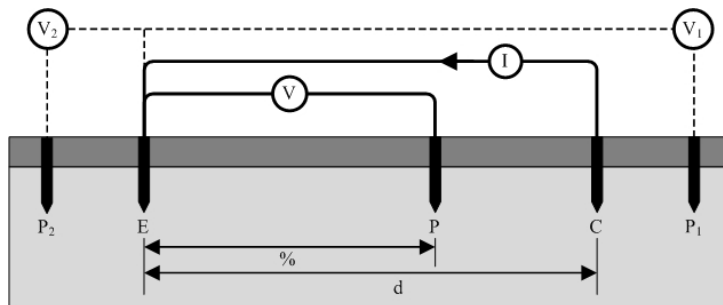


그림 2.5 전위강하법의 구성

Fig. 2.5 Configuration of a fall-of-potential method

위 그림에서 E는 측정의 대상이 되고 있는 접지극이고, C는 전류보조 전극, P는 전위보조전극으로 E극의 저항구역을 벗어난 적당한 거리에 타 입을 해야 한다. P극에 의해 E-P간의 전위차 $V[V]$ 를 측정하여 이를 대 지간에 흘린 전류 $I[A]$ 로 나누면 $V/I = Z[\Omega]$ 로써 접지임피던스를 구할 수 있다. 이상적인 전위강하법의 큰 특징은 2개의 보조전극에 의한 접지 저항값에 영향이 없다는 것이다. 하지만 실제에 있어서는 보조전극을 유 한의 거리에 설치하면 오차가 발생할 우려가 있기 때문에, 이를 검토하기 위하여 전위분포곡선 또는 저항분포곡선을 작성한다^[32].

전류 $I[A]$ 가 E극과 C극을 통하여 흐르게 되면 결과적으로 대지에 전위 의 변화가 생기며, P극의 위치를 변화시켜가면서 접지임피던스를 측정하 면 그림 2.6과 같은 E극과 P극간의 거리 x 의 함수로써 표현된다.

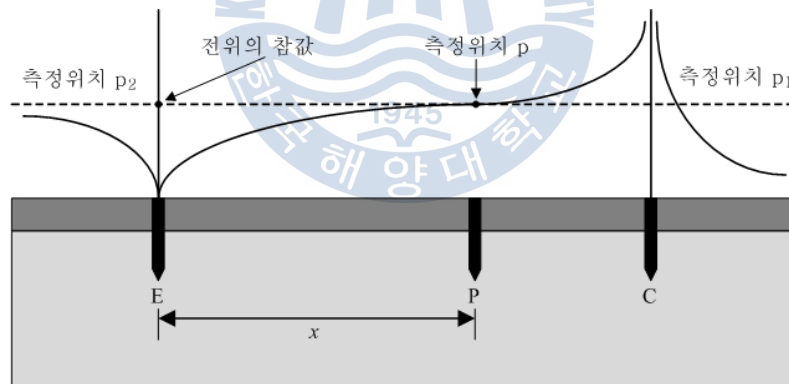


그림 2.6 간격 x 에 따른 대지전위의 변화

Fig. 2.6 Variation of ground potential for various spacing x

정확한 접지임피던스의 측정을 위해서는 P극을 접지전위의 참값을 나 타내는 측정위치 p 에 설치해야 한다. E극과 C극간의 거리가 적당히 떨어져 있다면 E극과 C극간에 접지전위의 변화가 일정한 평탄부분이 생기는

데, 이 지점이 임피던스의 참값을 나타내는 위치 p점이며 보통 E극으로부터 61.8[%] 떨어진 지점이다. 하지만 E극과 C극간의 거리가 너무 가까우면 참의 값을 나타내는 p점을 찾기가 어렵다. 또한 메쉬접지와 같은 대규모 접지체로 이루어진 접지계는 0.5[Ω] 이하의 매우 낮은 접지임피던스를 갖기 때문에, E극과 C극간에 흐르는 전류에 의해 E극과 P극간에 유도전압이 발생하여 참값을 나타내는 p점을 찾기가 불가능하다. 따라서 이러한 대규모 접지체의 경우 E극과 C극간에 흐르는 전류에 의한 유도현상의 영향을 피하기 위하여 P극을 p₂점으로 이동시켜 전위를 측정하게 된다. 이론상 p₂점은 E와 무한히 떨어져 있어야만 접지임피던스가 참값을 나타낸다.

그림 2.7은 P극과 C극을 90°의 각도로 배치하는 전위강하법의 구성을 나타낸 것이다. E극과 C극 사이의 측정전류 I_s 와, E극과 P극 사이의 대지전위 V_s 를 측정하여 접지임피던스를 산출한다^[33].

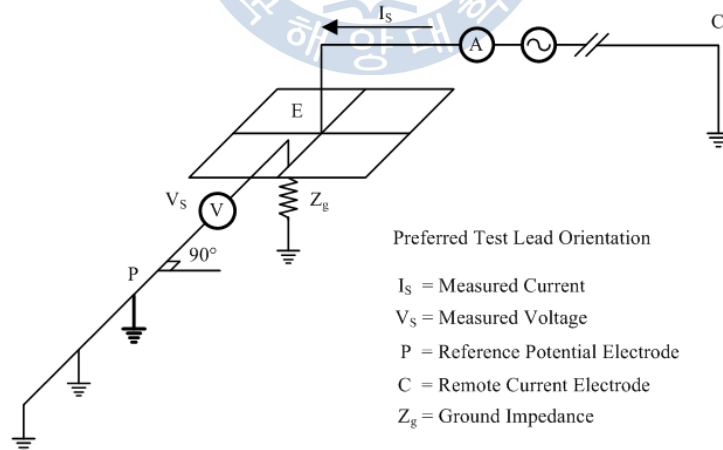


그림 2.7 90° 전위강하법의 구성

Fig. 2.7 Configuration of the 90° fall-of-potential method

IEEE Std. 81.2-1991에서는 접지시스템 크기의 대략 6.5배의 거리에 C극과 P극이 위치할 경우 접지임피던스의 95 [%]가 측정되는 것으로 나타나고 있다. 접지임피던스의 참값을 나타내는 최대의 접지극 전위상승 V_S 를 얻기 위한 P극의 위치는 인가전류가 일정하다고 가정하면 두 개나 세 개의 연속적인 전압이 무시되어질 때까지 거리를 증가시키면서 전위상승 값을 측정하여 P극의 위치를 결정한다. 다음으로 C극을 접지시설로부터 충분히 증가시키면서 전위상승 V_S 가 최대가 되는 곳에 C극을 위치시켜 측정한다. 본 논문에서는 측정전극을 90°로 배치하여 접지임피던스를 측정하였다.



2.3 위험전압

위험전압이란 인체가 접지시스템 성능이 저하된 전력설비 및 건축물에 직접 접촉을 하게 되거나 주변에 있게 될 경우, 대지전위의 상승으로 인한 전위차로 감전되어 재해를 입을 수 있는 전압을 말하며, 보통 접촉전압과 보폭전압의 두 가지로 구분한다.

뇌격시 서지나 계통의 지락고장 등 이상전류에 대한 인체의 감전보호와 전자기기의 오동작이나 파손을 방지하기 위해서는 고성능의 접지시스템이 필수 요건이다. 따라서 미국, 유럽 등 여러 선진국에서는 접지시스템의 성능을 단지 접지저항만이 아니라 접촉전압, 보폭전압과 같은 위험전압으로 규제하고 있다. 그러나 국내에서는 전기설비기술기준에서 정하는 접지저항값의 충족여부만으로 접지시스템의 성능을 평가하기 때문에, 인체에 대한 위험전압 등의 영향은 고려되지 않는 실정이다. 그러므로 접지극에 뇌격 등으로 인한 서지전류 또는 고장전류가 유입되었을 때, 접지극 주변의 대지표면전위상승을 평가하여 다른 설비에 미치는 영향을 최소화하고 인체에 대한 감전의 위험을 주지 않는 접지설계의 방법을 적용하는 것이 바람직하다. 이러한 대지표면전위상승은 접지극의 시설 및 접지임피던스 뿐만 아니라 접촉 및 보폭전압과 같은 위험전압과도 직접적으로 연관된다.

감전에 대한 인체의 위험정도를 나타내는 가장 중요한 요소는 인체를 통과하여 흐르는 전류값이며, 인체에 인가되는 전압의 크기는 2차적 요소로 전기적 충격을 일으키기도 한다. 인체에 흐를 수 있는 전류의 허용한계는 전류의 크기, 주파수, 통전시간, 체중 등에 의존하게 된다. 즉, 인체의 안전한계전류 I_s [A]는 통전시간을 t [s]라고 하면 식 (2.17)과 같이 표현된다^[31].

$$I_S = \frac{k_S}{\sqrt{t}} [A] \quad (2.17)$$

여기서, k_S = 인체의 체중에 따라 정해지는 정수

(평균 체중 50 [kg] : 0.116, 70 [kg] : 0.157)

인체의 감전에 대한 위험전압을 일률적으로 나타낼 수는 없지만 위험성의 한계에 대한 기준으로는, 대지에 접촉하고 있는 인체에 인가되어 감전을 일으키는 접촉전압과 보폭전압으로 크게 구별할 수 있다.

2.3.1 접촉전압

접지극에 뇌격전류 또는 계통의 고장전류가 유입되면 접지극 부근의 대지전위가 상승하게 되며, 이 때 인체가 접지극 부근의 구조물에 접촉하면, 구조물과 인체가 서 있는 지점의 대지표면 사이에는 전위차가 발생하게 된다. 이를 접촉전압이라 하며, 인체의 손과 다른 신체의 일부 사이에 인가되는 위험전압이다. 접촉전압은 발과 대지의 접촉조건, 지표면 부근의 대지저항률 등에 의해 다르게 나타난다. 인체가 구조물에 접촉한 상태를 전기적 등가회로로 나타내면 그림 2.8과 같다. 한쪽 발에 대한 대지접촉저항을 R_F , 인체전기저항을 R_B , 손과 구조물의 접촉저항을 R_H , 인체에 흐르는 전류를 I_B 라고 하면 접촉전압 V_T 는 다음의 식 (2.18)로 나타낼 수 있다^[31].

$$V_T = IR_1 = I_B (R_H + R_B + R_F/2) [V] \quad (2.18)$$

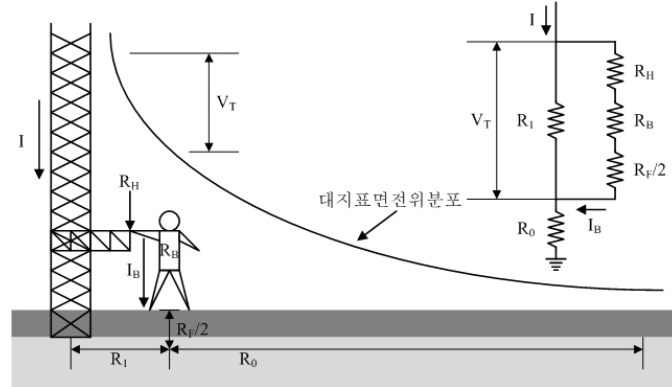


그림 2.8 접촉전압의 정의

Fig. 2.8 Definition of the touch voltage

IEEE Std. 80에 따른 정의에 의하면 접촉전압은 구조물과 대지의 지표면상의 1 [m]인 지점사이의 전위차로 나타낸다. 또한 인체에 대한 안전은 인체를 통하여 흐르는 전류가 완전히 제거되기 전에 인체에 흡수되는 에너지의 양과 직접적으로 관련된다. 인체에 흡수되는 에너지는 어느 제한값 이하이어야 하며, 인체에 인가되는 전압도 안전한계를 넘지 말아야 한다. 감전사고의 경우 가장 가혹한 접촉상태를 가정하는 경우를 상정하여 사람의 손과 구조물 사이의 접촉저항을 무시하여 평가하는 것이 합리적이다.

인체의 전기저항을 1000 [Ω], 체중 70 [kg]이라 가정하고, 한쪽 발에 대한 대지접촉저항 R_F 를 지표면 부근의 대지고유저항 ρ_S [$\Omega \cdot m$]를 적용하여 나타내면 $1.5\rho_S$ 이고, R_H 를 무시하면 접촉전압의 최대허용한계 V_T 는 다음의 식 (2.19)로 나타낼 수 있다^[31].

$$V_T = (1000 + 1.5C_S\rho_S) \frac{0.157}{\sqrt{t}} = \frac{157 + 0.236C_S\rho_S}{\sqrt{t}} \quad (2.19)$$

여기서, C_s 는 양쪽 발과 대지표면 사이의 접촉상태를 나타내는 감쇠계수로서 보호용 자갈층이 없는 경우는 1이다.

2.3.2 보폭전압

접촉전압의 경우와 동일하게 접지극을 통하여 고장전류가 대지로 유입되면, 그림 2.9에서와 같이 구조체 주변의 대지전위가 상승하게 된다. 이때, 인체가 구조체 인근에 위치하게 되면 양 발 사이에 전위차가 발생하게 된다. 이를 보폭전압이라 하며, 접촉전압과 더불어 인체의 감전보호에 있어서 매우 중요한 접지파라미터이다. 여기서, 인체의 전기저항을 R_B , 한쪽 발의 대지접촉저항을 R_F , 그리고 인체를 통하여 흐르는 전류를 I_B 라 하면, 보폭전압 V_S 는 다음의 식 (2.20)과 같다^[31].

$$V_S = IR_2 = I_B (R_B + 2R_F) \quad (2.20)$$

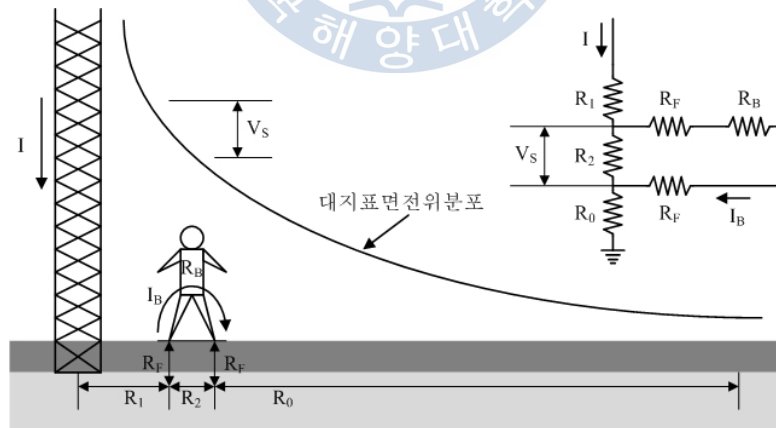


그림 2.9 보폭전압의 정의

Fig. 2.9 Definition of the step voltage

IEEE 규정에 정의된 보폭전압은 인체가 서 있는 상태에서 양발을 1 [m] 간격으로 벌렸을 때 지표면 위 양발 사이의 전위차로 나타낸다. 접촉 전압과 마찬가지로 체중 70 [kg]인 인체의 안전을 확보할 수 있는 최대 허용보폭전압 V_S 는 다음 식 (2.21)로 나타낼 수 있다^[31].

$$V_S = (1000 + 6C_S \rho_S) \frac{0.157}{\sqrt{t}} = \frac{157 + 0.942C_S \rho_S}{\sqrt{t}} \quad (2.21)$$



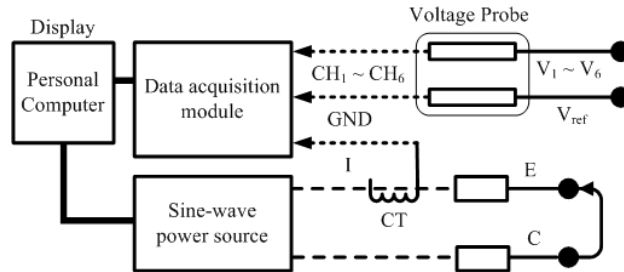
제 3 장 설계 및 제작

현재의 접지시스템 평가는 전기설비기술기준에서 정한 접지저항 허용값의 충족 여부를 판단하기 위하여 상용주파수와 같은 저주파에서 접지저항만을 측정하는 것이 대부분이다. 그러나 이는 토양의 구성 성분에 따른 대지저항률과 고주파 성분의 뇌격전류 또는 지락전류의 유입에 따른 접지임피던스 및 대지전위의 상승으로 인한 위험전압의 영향을 고려하지 않은 것으로, 접지시스템의 안전성을 평가하기 위해서는 위의 접지파라미터들을 측정·분석할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 접지시스템의 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압을 측정하고 분석하기 위하여 다음과 같은 시스템을 설계·제작하였다.

3.1 하드웨어 구성

그림 3.1에 위험전압 측정시스템의 하드웨어를 나타내었다. 측정시스템은 크게 전원출력부, 측정부, 표시부로 구성된다. 전원출력부는 정현파 300 [V]까지 출력할 수 있으며, 주파수를 40 [Hz]~1 [kHz]까지 가변할 수 있다. 측정부는 전압·전류 검출모듈과 데이터 취득모듈로 구성되며, 인가전류의 검출에는 출력특성 0.1 [V/A], 주파수대역이 30 [Hz]~100 [kHz] (-3 [dB]) 인 변류기를 사용하였으며, 전압은 6채널의 검출모듈을 제작하고 이를 이용하여 측정하도록 구성하였다. 데이터 취득모듈은 수평분해능이 400 [kS/s], 수직분해능이 16 bit이며 공통모드에서 16채널, 차동모드에서 8채널의 아날로그 입력부로 구성된다. 측정된 전압, 전류는 데이터 취득장치에 입력되며 이를 PC에서 연산하여 화면에 나타낸다.



(a) 구성도



(b) 사진

그림 3.1 시제작 위험전압 측정시스템(RVMS)

Fig. 3.1 Prototype of the RVMS

3.2 소프트웨어 설계

RVMS의 인가전압 및 주파수 설정과 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압의 측정이 가능한 프로그램을 설계하였으며, 측정 화면과 알고리즘을 그림 3.2~그림 3.4에 나타내었다. 인가전압은 최대 300 [V]까지 설정 가능하며, 측정 주파수는 65 [Hz], 128 [Hz], 513 [Hz], 768 [Hz], 999 [Hz]를 선택할 수 있다. 외부 노이즈의 영향으로 인한 측정 오차를 방지하기 위하여 버터워스 5차 방식의 디지털 대역통과필터를 적용하였으며, 측정 주파수에 따라 자동으로 필터의 중심주파수가 설정된다.

그림 3.2는 대지저항률의 측정 알고리즘과 화면을 나타낸 것으로, 측정 전류와 구간별 전압 및 대지저항률, 전체 대지저항률의 값을 표시할 수 있다.

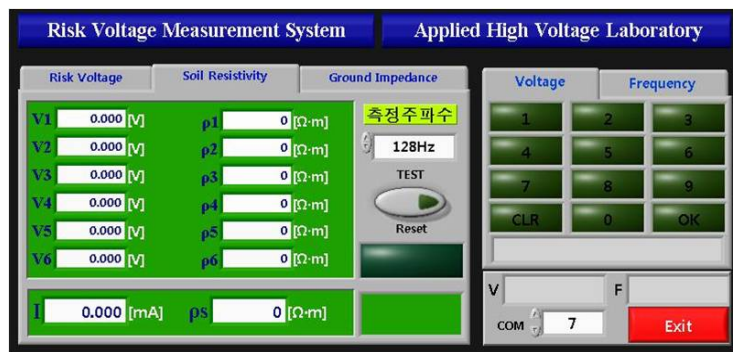
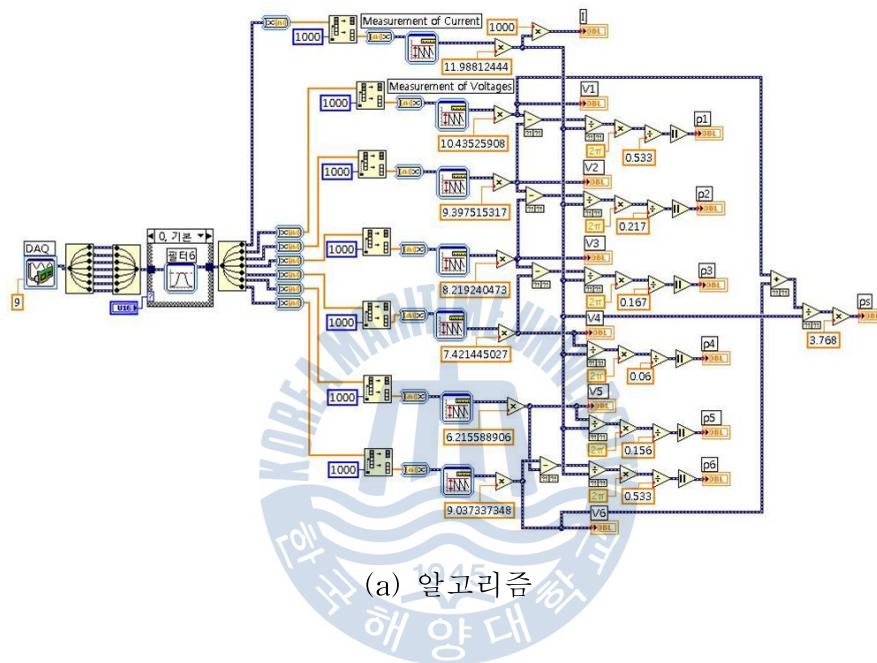
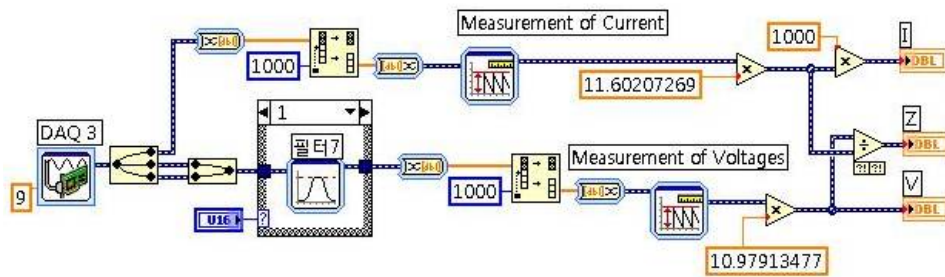


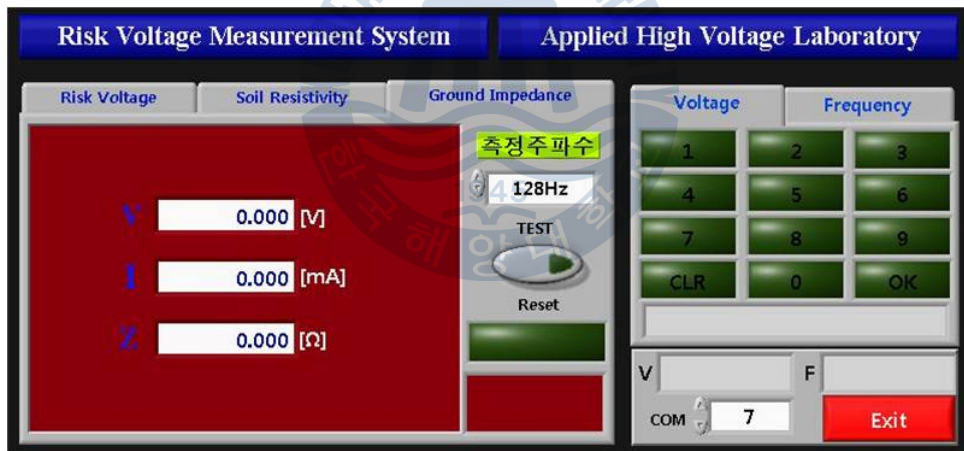
그림 3.2 대지저항률 측정 프로그램

Fig. 3.2 Soil resistivity measurement program

그림 3.3은 접지임피던스의 측정 알고리즘과 화면을 나타낸 것으로, 측정 전압 및 전류값과 이를 바탕으로 연산된 접지임피던스 값을 표시한다.



(a) 알고리즘



(b) 화면

그림 3.3 접지임피던스 측정 프로그램

Fig. 3.3 Ground impedance measurement program

그림 3.4는 위험전압의 측정 알고리즘과 화면을 나타낸 것으로 실험계의 구성에 따라 접촉전압 또는 보폭전압의 측정이 가능하다.

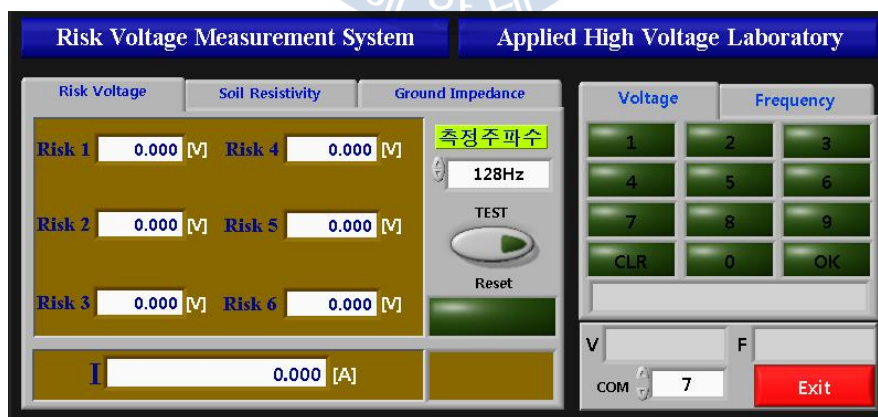
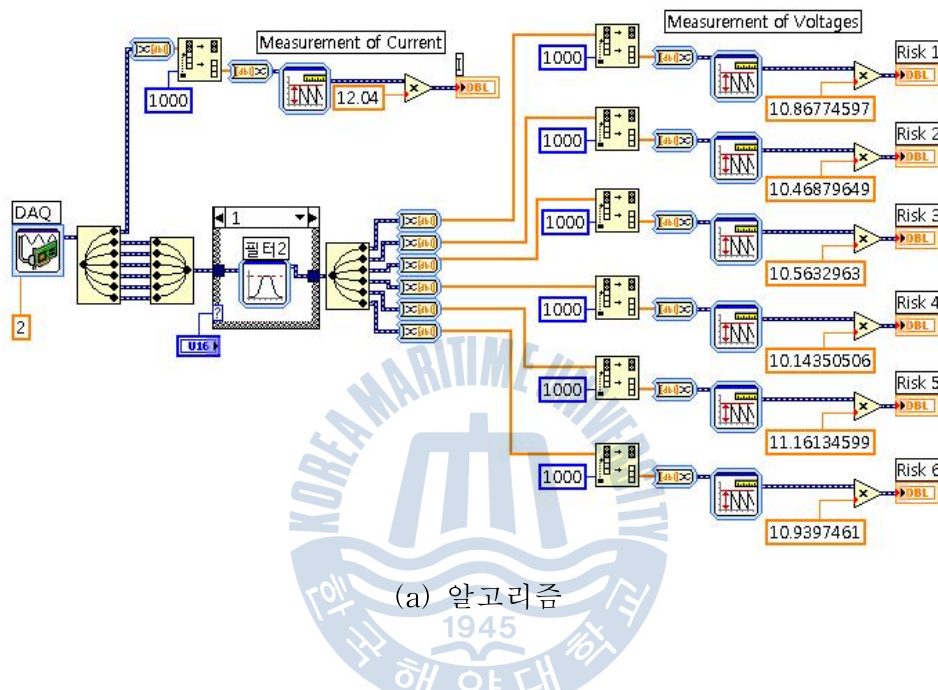


그림 3.4 위험전압 측정 프로그램

Fig. 3.4 Risk voltage measurement program

그림 3.5에 시제작 위험전압 측정시스템의 동작흐름을 나타내었다. 측정을 개시하면 소프트웨어를 통해 사용자가 설정한 주파수의 전압을 인가하며, 측정부의 검출모듈과 데이터 취득모듈에 의하여 대지저항률, 접지임피던스 및 위험전압의 접지파라미터를 산출한다. 본 과정은 이를 PC에서 연산하여 표시부에 나타낸 후 종료된다.

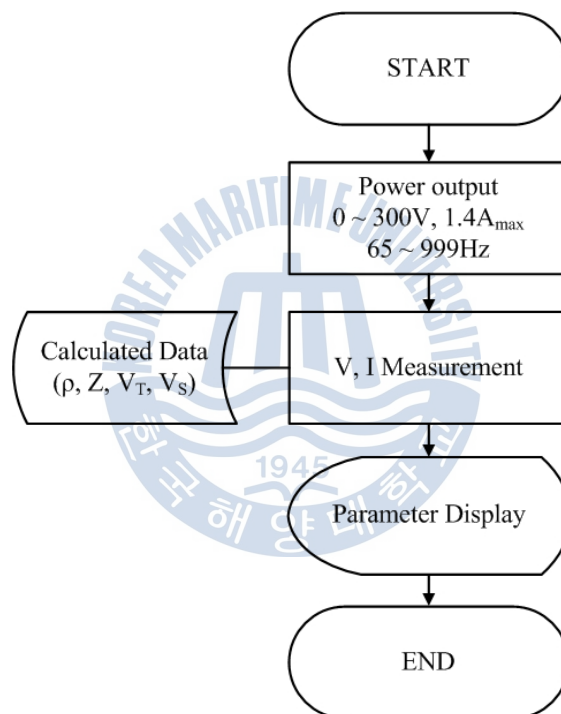


그림 3.5 위험전압 측정시스템 동작 흐름

Fig. 3.5 Flowchart for the operation of RVMS

3.3 노이즈 제거 알고리즘

접지계에는 전자 유도작용 또는 누설전류 등으로 접지파라미터의 측정을 위해 인가하는 주파수 성분 이외의 각종의 노이즈가 존재하게 된다. 이들 간섭은 그림 3.6과 같이 시험 전압파형에 중첩되어 나타나므로 측정값에 오차를 유발한다. 따라서 넓은 주파수 영역에서 접지파라미터를 정확히 측정하기 위해서는 외부 노이즈에 대한 대책이 필요하다.

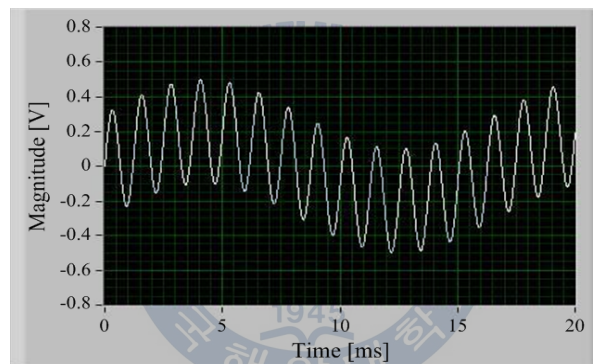


그림 3.6 외부 노이즈 간섭 파형의 예

Fig. 3.6 Example waveform with an external noise influence

본 논문에서는 디지털 대역통과필터를 사용하여 여러 가지 주파수 성분 중에서 측정을 위해 인가한 주파수 성분만을 분리하여 접지파라미터를 산출하는 방식을 제안하였다. 디지털 대역통과 필터는 5차의 버터워스구성으로 측정을 위해 인가한 주파수만을 통과시키도록 설계되어 있으며, 대역폭은 인가 주파수의 $\pm 3 [\%]$ 이다.

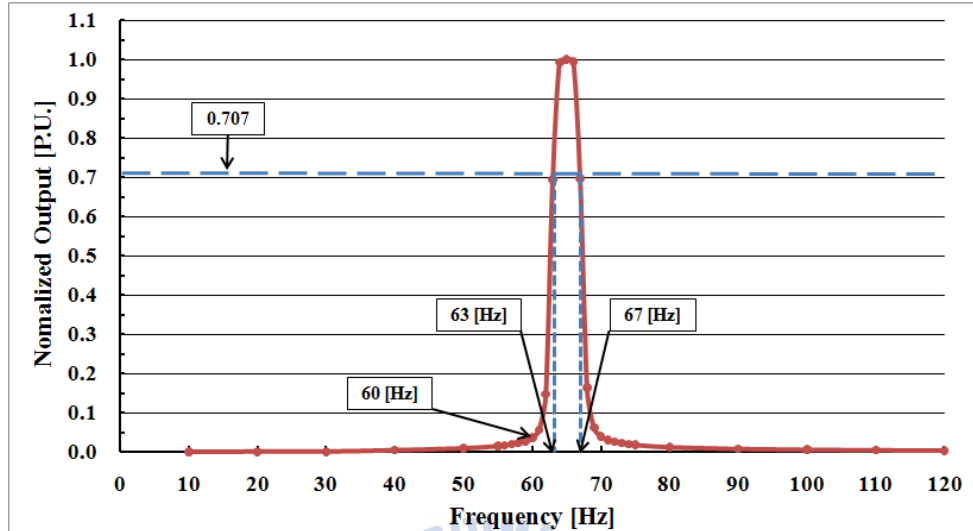
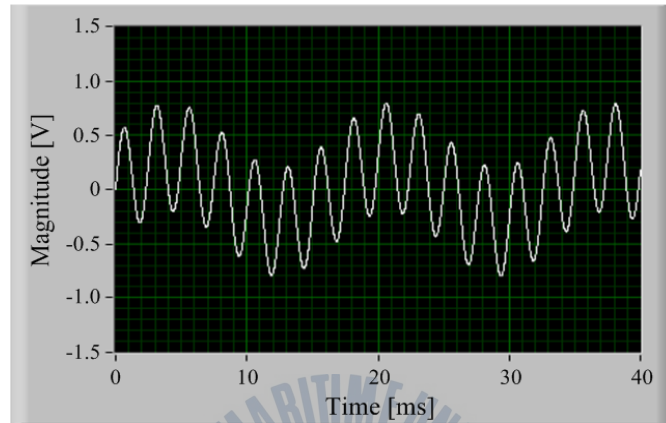


그림 3.7 65 [Hz] 디지털 대역통과필터 주파수 특성

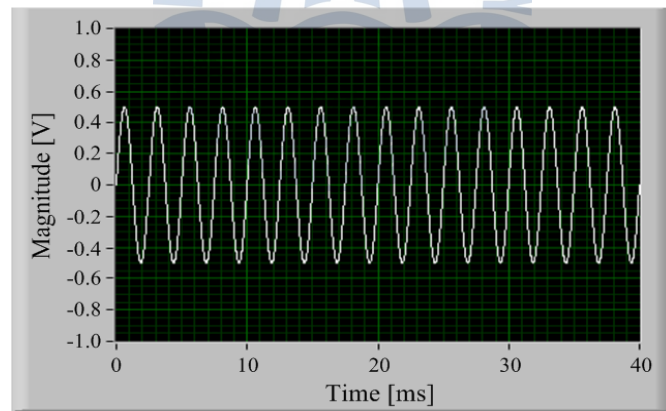
Fig. 3.7 Frequency characteristics of the digital band-pass filter of 65 [Hz]

그림 3.7은 65 [Hz] 디지털 대역통과필터의 주파수 특성을 나타낸 것으로, 60 [Hz] 전원 주파수 및 외부 노이즈는 제거되고 측정 주파수만 검출할 수 있음을 알 수 있다.

그림 3.8은 60 [Hz] 전원 주파수 성분이 존재하는 환경에서 접지파라미터 측정용 전원으로 400 [Hz]를 인가하였을 때, 검출된 파형의 예를 나타낸 것이다. 그림 3.8(a)는 400 [Hz]가 외부 노이즈에 해당하는 60 [Hz]에 중첩된 것이다. 그림 3.8(b)는 디지털 대역통과필터의 적용으로 외부 노이즈가 완전히 제거된 파형이며, 정확한 접지파라미터를 측정할 수 있다.



(a) 필터 적용 전



(b) 필터 적용 후

그림 3.8 대역통과 필터에 의한 노이즈 제거

Fig. 3.8 Noise elimination by the band-pass filter

제 4 장 평가 및 분석

시제작 위험전압 측정시스템의 성능평가를 위해 1 [k Ω] 100 [W] 무유도 저항을 사용하여 인가전압 10 [V]~300 [V], 주파수 128 [Hz]에서 검교정된 오실로스코프의 측정값과 비교실험을 수행하여, 측정결과를 표 4.1에 나타내었다.

표 4.1 비교측정의 결과

Table 4.1 Results of comparative measurement

입력전압 [V]	오실로스코프		RVMS		편차 [%]	
	V [V]	I [mA]	V [V]	I [mA]	V	I
10	10.10	10.08	10.26	10.13	1.58	0.49
50	50.28	50.22	50.69	50.43	0.81	0.42
100	100.20	100.00	100.81	100.44	0.79	0.44
150	150.04	150.16	151.21	150.86	0.78	0.47
200	200.43	200.09	201.78	201.22	0.67	0.56
250	250.31	250.15	248.87	249.33	0.58	0.33
300	300.18	300.24	297.52	298.43	0.89	0.60

대지저항률, 접지임피던스, 위험전압 특성을 분석하기 위한 접지시스템은 다음과 같다. 접지극(E)은 10 [m] 매설지선의 중앙부로, 전류보조전극(C) 및 전위보조전극(P)은 길이 0.5 [m], 직경 14 [mm]의 동봉을 사용하였다. 또한, 디지털 대역통과필터의 외부 노이즈 차단 성능을 확인하기 위하여 실험계에 220 [V], 60 [Hz]의 전원을 인가하였다.

4.1 대지저항률

접지시스템의 대지저항률 특성을 분석하기 위한 실험계의 구성을 그림 4.1에 나타내었다. 측정전극의 배치는 일직선 형태로써, E극과 C극의 간격은 10 [m]로 하고 그 사이에 P극 6개를 균등하게 배치하였다.

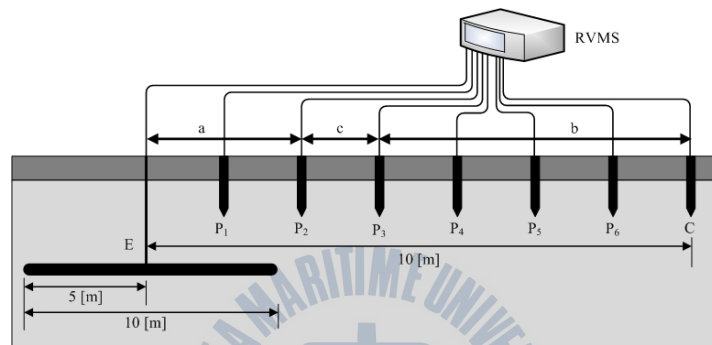


그림 4.1 대지저항률 실험계의 구성

Fig. 4.1 Configuration of the soil resistivity experimental set-up

측정결과는 그림 4.2와 같으며, P1~P6의 측정구간별 대지저항률은 93 [$\Omega \cdot m$]~180 [$\Omega \cdot m$]로 그 측정값이 다른 것은, 대지가 균일한 성분의 토양으로 구성되어 있지 않기 때문으로 판단된다.

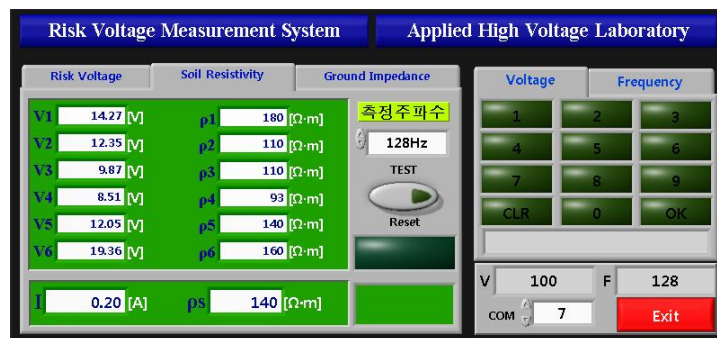


그림 4.2 대지저항률의 측정

Fig. 4.2 Measurement of soil resistivity

4.2 접지임피던스

접지시스템의 접지임피던스 특성을 분석하기 위한 실험계의 구성을 그림 4.3에 나타내었다. 전극간의 간격은 10 [m]이며, E극을 중심으로 P극과 C극은 90°로 배치하였다.

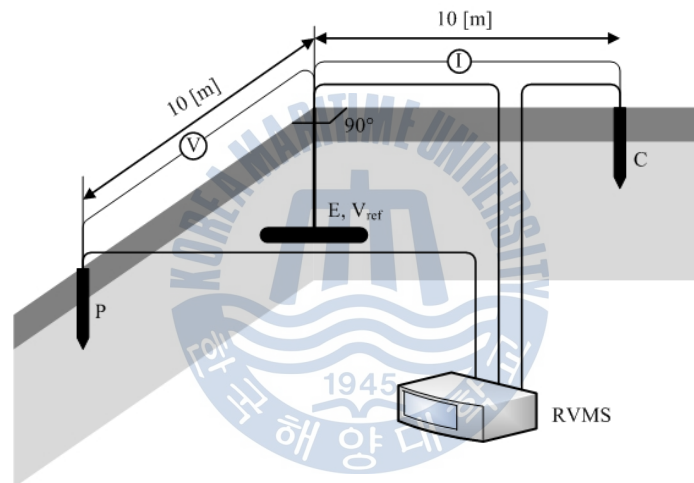


그림 4.3 접지임피던스 실험계의 구성

Fig. 4.3 Configuration of the ground impedance experimental set-up

인가 주파수를 65 [Hz], 128 [Hz], 513 [Hz], 768 [Hz], 999 [Hz]로 변화시키면서 접지임피던스를 측정하였으며, 그 결과를 표 4.2와 그림 4.4에 나타내었다. 측정결과 접지임피던스는 주파수가 증가함에 따라 감소하는 특성을 확인하였다.

표 4.2 접지임피던스의 측정 결과

Table 4.2 The measurement results of ground impedance

주파수 [Hz]	전압 [V]	전류 [mA]	임피던스 [Ω]
65	10.02	0.20	50.10
128	9.96	0.20	49.80
513	9.93	0.20	49.65
768	9.85	0.20	49.25
999	9.79	0.20	48.95

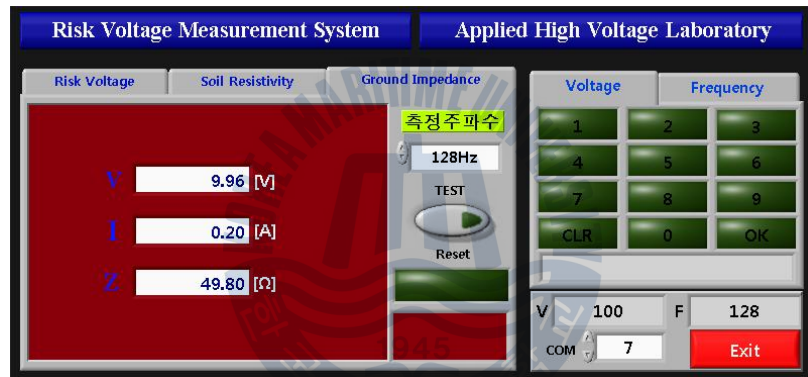


그림 4.4 접지임피던스의 측정

Fig. 4.4 Measurement of ground impedance

4.3 위험전압

접지시스템의 위험전압 특성을 분석하기 위하여 그림 4.5와 같이 IEEE Std. 80, 81에 근거한 실험계를 구성하였다. 접지극(E)은 10 [m] 매설지선의 중앙부로, 인가전류는 1 [A], 주파수는 128 [Hz]로 설정하였으며, 전류 보조전극(C)을 접지극으로부터 10 [m]~100 [m]까지 이격시키며 이에 따른 위험전압을 측정하였다. 접촉전압(V_T)은 매설지선의 종단으로부터 1 [m] 지점에 전위보조전극(P_T)을 설치하여 접지극과의 전위차를 측정하였다.

보폭전압($V_{S1} \sim V_{S5}$)은 접촉전압 측정시의 전위보조전극(P_T)을 중심전극으로 하고, 5개 전극($P_{S1} \sim P_{S5}$)을 1 [m] 간격의 원형으로 배치하여 전극 P_T 와의 전위차를 측정하였다.

전류 및 전위보조전극은 길이 0.5 [m], 직경 14 [mm]의 동봉을 사용하였다. 또한, 디지털 대역통과필터의 외부 노이즈 차단 성능을 확인하기 위하여 실험계에 220 [V], 60 [Hz]의 전원을 인가하였다.

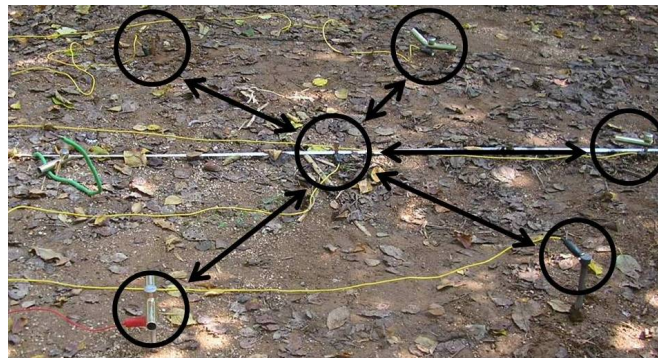
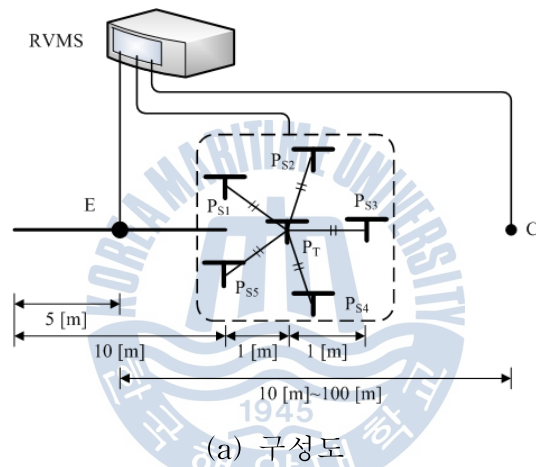


그림 4.5 실험계의 구성

Fig. 4.5 Configuration of the experimental set-up

위험전압의 측정결과는 표 4.3과 같으며, 전류보조전극의 이격거리가 증가할수록 접촉전압 및 보폭전압은 감소하는 경향을 나타내었다.

표 4.3 위험전압의 측정결과

Table 4.3 The measurement results of risk voltage

이격거리 [m]	접촉전압 V_T [V]	보폭전압 V_S [V]				
		V_{S1}	V_{S2}	V_{S3}	V_{S4}	V_{S5}
10	26.06	1.55	1.67	2.80	1.85	0.87
20	24.90	1.33	1.62	2.28	1.80	0.61
30	23.21	1.19	1.45	2.03	1.61	0.54
50	16.35	0.78	0.79	1.34	1.07	0.39
100	15.30	0.73	0.74	1.21	0.95	0.35

1) 전류보조전극의 이격거리에 따른 접촉전압

접촉전압의 측정값은 그림 4.6에서와 같이, 전류보조전극의 이격거리가 10 [m]일 때 26.06 [V]로 가장 높았으며, 10 [m]~50 [m] 구간에서는 26.06 [V]~16.35 [V]로 점차 감소하고, 50 [m]~100 [m] 구간에서는 16.35 [V]~15.30 [V]로 일정한 값이 유지되었다.

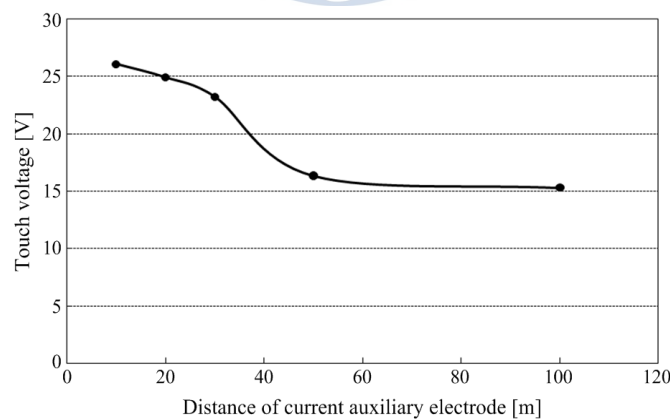


그림 4.6 전류보조전극의 이격거리에 따른 접촉전압의 변화

Fig. 4.6 Touch voltages as a function of distance of current auxiliary electrode

이와 같이, 접지극으로부터 전류보조전극의 이격거리가 충분하지 않으면 접촉전압의 측정값이 높게 나타나므로, 정확한 측정 결과를 위해서는 충분한 이격거리가 필요함을 알 수 있다. 본 실험의 경우 접촉전압 측정 시 전류보조전극의 이격거리는 최소 50 [m] 이상으로 나타났다.

2) 전류보조전극의 이격거리에 따른 보폭전압

보폭전압의 측정값은 접촉전압의 측정결과와 유사하게 전류보조전극의 이격거리가 10 [m]일 경우에 가장 높았으며, 10 [m]~50 [m] 구간에서는 점차 감소하고, 50 [m]~100 [m] 구간에서는 일정한 값이 유지되었다. 이를 그림 4.7에 나타내었다.

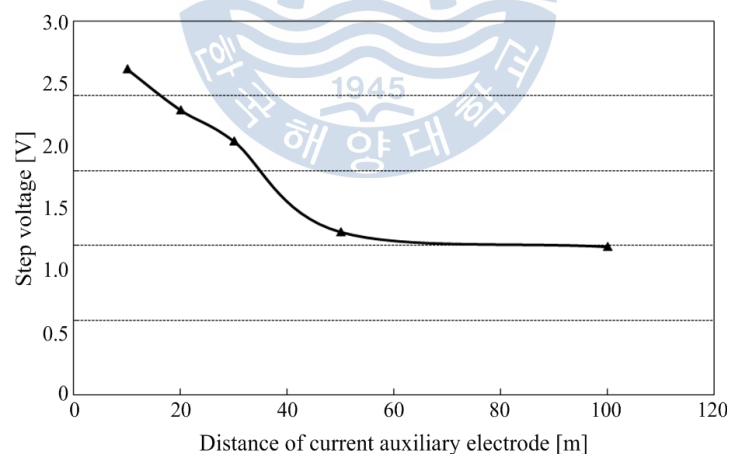


그림 4.7 전류보조전극의 이격거리에 따른 보폭전압의 변화

Fig. 4.7 Step voltages as a function of distance of current auxiliary electrode

전류보조전극의 이격거리에 따른 보폭전압의 변화는 유사한 경향을 나타내었으나, 전위보조전극의 위치에 따른 보폭전압의 측정값은 각각 다르게 나타났다. 중심전극을 기준으로 접지극 반대 방향에 위치한 전위보조전극과의 보폭전압 측정값($V_{S2} \sim V_{S4}$)이, 접지극 방향에 위치한 전위보조전극과의 측정값(V_{S1}, V_{S5})보다 상대적으로 높게 나타났다. 이는 전위보조전극이 접지극에서 먼 거리에 위치할수록 그 전위차가 크기 때문으로 판단된다.



제 5 장 결 론

본 연구에서는 대지저항률, 접지임피던스 및 위험전압을 고려한 접지시스템의 성능평가를 위하여 위험전압 측정시스템을 설계 및 제작하였다. 10 [m] 매설지선으로 구성된 실험계에서 대지저항률, 접지임피던스 및 전류보조전극의 이격거리에 따른 위험전압을 측정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제작한 위험전압 측정시스템은 전원출력부, 측정부, 표시부로 구성된다. 전원출력부는 정현파 300 [V]까지 출력할 수 있으며, 주파수를 40 [Hz]~1 [kHz]까지 가변할 수 있다. 측정부는 전압·전류 검출모듈과 데이터 취득모듈로 구성되며, 인가전류의 검출에는 출력특성 0.1 [V/A], 주파수대역이 30 [Hz]~100 [kHz] (-3 [dB]) 인 변류기를 사용하였으며, 전압은 6채널의 검출모듈을 제작하고 이를 이용하여 측정하도록 구성하였다. 데이터 취득모듈은 수평분해능이 400 [kS/s], 수직분해능이 16 bit이며 공통모드에서 16채널, 차동모드에서 8채널의 아날로그 입력부로 구성된다. 측정된 전압, 전류는 데이터 취득장치에 입력되며 이를 PC에서 연산하여 화면에 나타낸다.
- 2) 위험전압 측정시스템의 인가전압 및 주파수 설정과 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압의 측정이 가능한 프로그램을 설계하였다. 인가전압은 최대 300 [V]까지 설정 가능하며, 측정 주파수는 65 [Hz], 128 [Hz], 513 [Hz], 768 [Hz], 999 [Hz]를 선택할 수 있다. 외부 노이즈의 영향으로 인한 측정 오차를 방지하기 위하여 버터워스 5차 방식의 디지털 대역통과필터를 적용하였으며, 측정 주파수에 따라 자동으로 필터의 중심주파수가 설정된다.

- 3) 무유도 저항을 사용하여 위험전압 측정시스템의 출력 전류 및 전압을 측정하였으며, 이를 오실로스코프와 비교한 결과 2[%] 이내의 편차를 나타내었다. 노이즈 제거 알고리즘의 적용으로 대지저항률, 접지임피던스, 위험전압 측정시 상용전원의 영향으로 인한 오차가 발생하지 않았다. 전류보조전극의 이격거리가 증가할수록 위험전압은 감소하는 경향을 나타내었다. 제작된 위험전압 측정시스템을 사용하여 접지계의 성능평가가 가능함을 확인하였다.

위험전압 측정시스템 사용하여 IEEE Std. 80, 81에 따른 실험계에서 접지시스템의 성능평가를 수행한 결과, 대지저항률 및 접지임피던스는 접지저항과 다른 특성을 나타내었다. 또한 위험전압은 전류보조전극의 이격거리와 연관성이 있음을 확인하였다. 이와 같이 접지파라미터마다 그 특성이 상이하므로 접지시스템의 성능평가는 접지저항뿐만 아니라 대지저항률, 접지임피던스 및 위험전압을 고려하여야 함을 알 수 있다.

상기 접지파라미터들의 측정·분석이 가능한 위험전압 측정시스템을 사용하여 접지시스템의 성능평가를 수행한다면, 효과적인 접지대책 수립에 활용되어 인체에 대한 안전성 여부 판단에 도움이 될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 전력거래소(2010), “2010년도 주요전력지표”.
- [2] 김세동, “첨단정보빌딩에서의 접지기술”, 전기저널, pp. 15~23, 1999. 12.
- [3] 高橋 健彦, 金聖模, 李炯秀, “接地技術入門”, オーム社, pp. 203~218, 1997.
- [4] Ralph Morrison, Warren H. Lewis, “Grounding and Shielding in Facilities”, John Wiley & Sons, pp. 44~45, 1990.
- [5] Romuald Kosztaluk, Dinkar Mukhedkar, Yvon Gervais, “Field Measurements of Touch and Step Voltages”, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 11, pp. 3286~3294, 1984.
- [6] A.P. Sakis Meliopoulos, George Cokkinides, “A PC Based Ground Impedance Measurement Instrument”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1095~1106, 1993
- [7] Leonid Grcev, “High frequency performance of ground rods in highly resistive soil”, International Conference on Grounding and Earthing. pp.85-89, 2000.
- [8] 최홍규, 최병숙, 송영주, “접지설비 및 설계”, 성안당, pp. 223~229, 2007.
- [9] R. L. Stoll, G. Chen, N. Pilling, “Comparison of two simple high - frequency earthing electrodes”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 151, No. 2, 2004. 3.

- [10] 高橋 健彦, 鄭鍾旭, “접지 · 등전위본딩 설계 실무지식”, 성안당, pp. 55 ~58, 2004.
- [11] A.P. Sakis Meliopoulos, “Power System Grounding and Transient : An Introduction”, Marcel Dew, INC., 1988.
- [12] Mohamed Nayel, Jie Zhao, Jinliang He, Zongyuan Cai, Qi Wang, “Study of Step and Touch Voltages in Resistive/Capacitive Ground due to Lightning Stroke”, CEEM/Dalian, pp. 56~60, 2006.
- [13] Ralph Morrison, Warren H. Lewis, Grounding and Shielding in Facilities, John Wiley & Sons, pp. 44~45, 1990.
- [14] Tony Mitton, Robin Watson, “Practical Testing of Grounding Systems by Current Injection”, CDEGS User Meeting(Mitton Consulting Ltd, New Orleans), pp. 1-8, 2005.
- [15] A. Geri, “Behaviour of Grounding Systems Excited by High Impulse Currents: the Model and Its Validation”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 3, pp. 1008-1017, 1999.
- [16] Ronald P. O Riley, “Electrical Grounding : Bringing Grounding Back to Earth”, DELMAR, pp. 40-43, 2002.
- [17] A. D. Papalexopoulos and A. P. Meliopoulos, “Frequency Dependent Characteristics of Grounding System”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 4, pp. 1073-1081, 1987.
- [18] IEEE Std. 80-2000, “IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding”, p. 5.
- [19] TTAS.KO-04.0041, “Measurements of Earth Resistivity”, p. 2, 2005.

- [20] R. J. Gustafson, R. Pursley, V. D. Albertson, "Seasonal grounding Resistance Variations on Distribution Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, 1990. 4.
- [21] Y. I. Chow, J. J. Yang, K. D. Srivastava, "Grounding Resistance of Buried Electrodes in Multi-Layer Earth Predicted by Simple Voltage Measurements along Earth Surface - A Theoretical Discussion", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, 1995. 4.
- [22] IEEE Std 367-1996, "IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault", p. 2.
- [23] 설동화, 장선권, 김명생, "접지기술과 단체표준", 삼보, pp. 127~136, 2008.
- [24] Gish. O., and Rooney. W., "Measurement of resistivity of large masses of undisturbed earth", Terrestrial Magnetism & Atmospheric Electricity, Vol. 30, pp. 161~188. 1925.
- [25] TTAS.KO-04.0041, "Measurements of Earth Resistivity", p. 5~6, 2005.
- [26] 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", 의제, pp. 65~69, 2000.
- [27] M. Khalifa, "High Voltage Engineering ; Theory and Practice", Marcel Dekker, pp. 331~356, 1990.
- [28] M. Abdel-Salam, A. El-Morshedy et al., "High-Voltage Engineering", Marcel Dekker, pp. 419~428, 2000.
- [29] 高橋 健彦, "接地抵抗測定法の理論的検討", 日本電氣設備學會誌, pp. 899~907, 1990.

- [30] 井上一男, “接地抵抗測定における問題点”, 日本電気設備學會誌, pp. 878~898, 1990. 2.
- [31] IEEE Std. 80-2000, “IEEE Guide for safety in AC Substation Grounding”, p. 16~29.
- [32] IEEE Std. 81-1983, “IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”, p. 18~20.
- [33] IEEE Std. 81.2-1991, “IEEE Guide for measurement of Impedance and Safety characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems”, p. 12~13.

